# 生物防治在綠色農業體系中所扮演的角色

謝廷芳 余志儒 石信德

行政院農業委員會農業試驗所

## 前　言

綠色農業是以生產、加工、銷售綠色食品為核心的農業生產經營方式。綠色農業的作物栽培與生產概念界於傳統農業與有機農業之間，亦即是由傳統農業過渡到有機農業之前採取符合生態需求、降低有害農藥使用、生產安全無虞農產品的一項農業作為。並遵循自然規律和生態學原理，採用一系列可持續發展的農業技術，以維持穩定的農業生產體系。近年來，政府極力提倡與發展『永續農業』，祈能藉由生態資源循環利用的耕作理念，充分採用各種栽培管理措施，配合農作物資源回收再利用，生產無農藥殘留的農產品，與綠色農業的概念不謀而合。在生產綠色食品的過程之中，常需克服與降低病蟲害所帶來的威脅，而採用生物防治的理念是依據生態學原理，增進生物多樣性，並以物克物的方式來降低病蟲害的發生，完全符合綠色農業的需求。本文祈能以廣義的生物防治概念，闡述其在綠色農業生產體系之中所扮演的角色，以嘉惠讀者。

## 綠色農業與病蟲害管理

臺灣地處熱帶與亞熱帶氣候區，常年半數時間處於高溫多濕環境下，適合多種作物病害的發生與傳播，增加農民生產成品，嚴重影響農產品的產量與品質。在符合綠色農業理念的作物生產過程之中，病蟲害的管理是較為棘手而必須即刻克服的問題。在考量永續農業的經營精神，依循生態學原理的方式來管理病蟲害的發生是一項應被重視的作為。在一個農業生態系之中，生物多樣性越高，生物間的相互關係越複雜，而生物間以物克物的情況無時無刻不在發生，達到動態平衡，則該生態系越趨於穩定，這是生物防治的最佳理論來源。因此，依生物防治的原理，可利用生物性天敵及微生物製劑來防治病蟲害的發生。在生態系中常見物種的弱肉強食現象，適者生存，不適者則遭淘汰的命運，因此如何誘發作物本身對病蟲害的抗性，亦是一項符合生態學原理的病蟲害防治作為。據報告，許多微生物及植物萃取物，天然礦物或化學物質等均具誘導植物抗病性的功效，值

得廣為應用。在穩定的生態系之中，防治病蟲害的資材取之於生態系，用之於生態系，可使農業生態系不遭受外來的重大衝擊，並使天然資材循環利用，生生不息。如植物萃取物及其製劑，天然素材或礦物等均取自於自然界，可作為防病忌蟲的天然資材。因此，符合生態學原理的病蟲害防治措施，均包含於廣義的生物防治定義之中。

## 生物防治與綠色農業

臺灣常年高溫多濕，所生產的農作物容易遭受病蟲草害的危害而造成經濟損失，又化學燻蒸藥劑『溴化甲烷』即將在未來農業操作中被禁止使用，極需尋找可行的替代方案，而採行生物防治方法與策略適可稍微填補其空缺。永續農業是遂行綠色農業的手段，且已被列為重點發展之政策，而生物防治則為綠色農業植物保護的重要手段。在農作物病蟲害綜合防治中，需要利用生物防治技術來減少化學藥劑的使用，而生產有機農產品時，更需利用無污染，且運行在自然生態體系內之措施來減少病蟲害損失，據此研發生物性植物保護製劑或生物性農藥是是執行生物防治不可或缺的重要工作。

相較於傳統農藥每年 1~2%的成長速度，預測目前全世界的生物性植物保護製劑市場，正以每年 10~15%的 速度成長中。自 1999 年以後，美國國內即有 1 億 5 千萬美元的市場規模，至 2005 年 8 月已有 214 種有效成分以 1055 種產品登記為生物性農藥上市。根據英國作物保護協會（UK Crop Protection Association）的調查顯示，2000 年全球農藥產值約為 292 億美元，而生物性農藥的產值將近 1.6 億美元，預估至 2020 年，生物性農藥的總產值將可達到 50 億美元。目前生物性植物保護製在國內經核准登記在植物上使用之有效成分有 15 種，包括微生物製劑之蘇力菌（*Bacillus thuringiensis*, Bt）、枯草桿菌（*Bacillus subtilis*），植物源之除蟲菊精、印楝素及生化農藥之甜菜夜蛾費洛蒙、斜紋夜蛾費洛蒙等。我國由國外進口之生物性農藥產品防治對象主要為害蟲，依農委會統計資料顯示 2004 年生物性農藥年銷售額約台幣 4,918 萬元，其中微生物農藥 (蘇力菌殺蟲劑) 約 1,788 萬元(佔 36%)，生長調節劑「勃激素」約 1,026 萬元(佔 21%）。另抗生素殺菌劑 4,155 萬元，而 2004 年新登記進口之賜諾殺(spinosad)殺蟲劑已遠超過蘇力菌之產值其輸入值達 2,100 萬元。

生物性農藥的優點如下：一、具低毒性、對環境低風險；二、對目標病蟲害較具專一性；三、施用量少，易分解，無殘留問題；四、降低化學農藥的使用量；五、辦理農藥登記所需資料較少，取得核可時程較短。因

此，生物性農藥的使用符合綠色農業的規範，在未來極具競爭性。

## 生物性農藥的種類

所謂的生物性農藥可分成三大類:

一、微生物農藥：

指利用真菌、細菌、病毒、原生虫 (protoza) 等作為主要成份，用於防治植物病原菌、植物病原線蟲、昆蟲或雜草者。例如以枯草桿菌 (*Bacillus* spp.) 、螢光假單胞菌 (*Pseudomonas* spp.) 、木黴菌 (*Trichoderma* spp.) 、鏈黴菌 (*Streptomyces* spp.) 、粘帚黴菌 (*Gliocladium* spp.) 、囊叢枝菌根菌 (*Glomus* spp.) 、白殭菌、綠殭菌、黑殭菌、核多角體病毒 (Nuclear Polyhedrosis Virus, NPV) 及線蟲 (*Steinernema abbasi*) 等具有生物防治潛力的微生物作為防治植物病蟲害之微生物製劑。

二、植物源農藥：

指利用植物體本身者之有效成分如植物萃取液或植物油作為防治植物病原菌、植物病原線蟲、農業害蟲或雜草之製劑者。由基因導入植物體以獲取所需的毒蛋白，亦包括在內。一般指植物原料僅經脫水乾燥處理後壓榨、磨粉或製粒而不以化學方法精製或再加以合成者。例如印楝素（azadirachtin） 、大蒜浸出液 (garlic) 、菸鹼 （nicotine） 、除蟲菊精（pyrethrum）、魚藤精（rotenone）、藜蘆鹼（sabadilla, vertrine）及皂素（saponins）等。植物萃取液防治作物病蟲害是開發植物性農藥的初階研究。目前研究植物萃取物防治作物病害的成果經歸納可分成二大類，第一類為植物萃取液可誘導植物產生抗病性，第二類為直接使用萃取抗菌物質或含抗菌成分的萃取液。

三、生化農藥：

指利用費洛蒙 (昆蟲訊息素) 、賀爾蒙 (激素) 、天然昆蟲或植物生長調節劑 (自然的昆蟲或者植物發展管理者) 、驅蟲劑 (驅蟲劑) 或拒避劑以及酵素等當作主要活性成份 (有效的 pesticidal 成分) ，尚包含天然礦物或天然化學物質等以作為防治植物病原菌、植物病原線蟲、農業害蟲或雜草者。一般而言，生化農藥指經過提取與純化過之微生物次級 (二次) 代謝物與從植物取得再製之有效活性成分作為製劑者，例如誘敏蛋白質 (harpin protein) 。

根據美國環境保護署 (EPA) 報告，截至2005年底在美國通過登錄生物性農藥有效成分達215種，相關產品達1076種。而據我國防檢局農藥資訊服務網之記錄，國內已登記生物性農藥約15種，包括微生物製劑之蘇力

菌、枯草桿菌，天然素材之除蟲菊精、印楝素及生化製劑甜菜夜蛾費洛蒙、斜紋夜蛾費洛蒙等。

## 生物性農藥之開發與應用

一、微生物農藥 (microbial pesticides) ：

農用微生物製劑係指用於作物病原、害蟲、雜草防治或誘發作物抗性之微生物或其有效成份經由配方所製成之產品，其微生物來源包括：細菌、真菌、病毒和原生動物等，一般由自然界分離所得，唯也可再經人工品系改良，如人為誘變、汰選或遺傳基因改造。

（一）病害防治用微生物農藥：

截至目前為止，國外已量產且商品化的生物製劑涵蓋多種微生物，如 AQ10® (*Ampelomyces quisqualis*)、Fusaclean® (*Fusarium oxysporum*)、SoilGard® (*Gliocladium virens* GL-21)、Bio-Trek 22G® (*Trichoderma harzianum*)、 Trichodex ® (*Trichoderma harzianum*) 、 Quantum 400 HB® 、Kodiak® (*Bacillus subtilis*)、BioJect Spot-Less® (*Pseudomonas aureofaciens*)、Stealth® (Steinernema feltiae)、CYD-X® (Heliothis Nucleopolyhedrosis Virus; NPV) 、 Actinovate® ( *Streptomyces lydicus* WYEC 108) 及 Mycostop® ( *S. griseoviridis* K61) 等，用於防治各種病原菌引起的病害。

臺灣利用生物防治方法防治病害發生的研究工作已超過二十年，曾被應用於田間實作而有成效的例子有： 1. 屏東科技大學以木黴菌（*Trichoderma koningii*） 粉衣紅豆種子可防冶紅豆根腐病，並增加產量；2. 台灣大學植物病理系曾利用枯草桿菌 （*Bacillus subtilis*） 粉劑處理菊花扦插苗，發現可減菊花莖腐病; 利用 *B. amyloliquefaciens* 可以防治百合灰黴病； 3. 農業試驗所植物病理系發現利用木黴菌（*Trichoderma harzianum*, *T. atroviride*, and *T. virens*）可有效地防治康乃馨根腐病、香瓜蔓枯病、甘藍立枯病，以及促進植株生長； 4. 中興大學植病系亦有發展枯草桿菌 （*Bacillus subtilis*） 應用於如木瓜炭疽病及疫病的防治，放線菌 (*Streptomyces saraceticus*) 防治柑桔裾腐病及木瓜果實疫病、 *S. padanus* 防治甘藍立枯病及番茄晚疫病等多種病害的防治等。台灣目前已登記使用於病害防治的枯草桿菌商品化產品只有台灣寶®一項，此外亦有多種微生物如木黴菌、放線菌、枯草桿菌及螢光假單胞細菌等進入商品化開發之階段 (表一) 。如農試所將木微菌 Tv-R42 菌株量產技術技術移轉給鴻福生技生態公司，而將 Th-004 菌株量產技術授權給百泰生物科技股份有

限公司；中興大學植病系將放線菌 (*Streptomyces padanus*) 以非專屬授權方式移轉給永豐餘生技股份有限公司。

（二）害蟲防治用微生物農藥：

在蟲害防治方面的生物性農藥包括細菌類 (蘇力菌) 、真菌類 (白殭菌、黑殭菌) 、病毒 (核多角體病毒) 、蟲生線蟲等。細菌方面，以可產生 8 種殺蟲毒素之蘇力菌，是目前唯一用量最多的生物性農藥，以防治鱗翅目害蟲為主，惟多仰賴進口。 藥試所目前以遺傳工程及生物技術來改善本土蘇力菌 (*Bacillus thuringiensis*, Bt) 菌株之生物活性。真菌方面，如中興大學利用白殭菌 (*Beauveria bassiana*) 防治蔗龜、草蟬、綠島草蟬、亞洲玉米螟、甘藷蟻象等，利用綠殭菌防治斜紋夜蛾、玉米穗蟲；而本所嘉義分所利用黑殭菌 (*Metarhizium anisopliae* (Metsch.) Sorokin) 防治椰子之紅胸葉蟲、青蔥之甜菜夜蛾、水稻斑飛蝨和褐飛蝨等，均有良好之成效。病毒方面，中興大學研究細胞核多角體病毒 (Nuclear Polyhedrosis Virus, NPV) 用於防治甜菜夜蛾、玉米穗蟲、斜紋夜蛾等多種鱗翅目幼蟲，鞘翅目的犀角金龜，膜翅目的鋸蜂等。在蟲生線蟲方面，興大所分離之本土線蟲 *Steinernema abbasi*，對甜菜葉蛾、玉米穗蟲、等多種鱗翅目幼蟲之致死率高。以上均具有開發生物性農藥的潛力，惟尚未有商品化。

二、植物源農藥 (plant derived pesticides) ：

植物源農藥為利用植物所含的穩定有效成分，按一定方法對目標植物進行施用後，以降低病、蟲、雜草等有害生物危害的植物源製劑。植物源農藥的優點如下：（一）全世界可作爲植物源農藥應用的植物約有二千種以上，種類繁多，取材容易；（二）植物是天然化工廠，生產天然化合物，取之不盡，用之不竭；（三）植物源農藥具有抑菌忌蟲及誘導抗病的功效；（四）已有魚藤酮、苦參鹼、菸鹼、楝素、藜蘆鹼、茴蒿素、木煙鹼、苦皮藤素、苦豆子總鹼等產品問市。

（一）病害防治方面：

國外利用植物萃取物防治作物病害的例子不少，日本大黃 (*Rheum undulatum*) 萃取物可濕粉製劑 (RK)2000 倍稀釋液，對胡瓜白粉病有 75-100% 的防治率；虎杖 (*Reynoutria sachalinensis*) 萃取液對數種作物之白粉病及灰黴病具有良好的防治效果；馬纓丹 ( *Lantana camara* L.) 的花萃取液可降低由 *Aspergillus niger* 引起的番茄果腐病，也降低因 *Drosophila busckii* 造成傷害導致的果腐；苦楝葉的酒精萃取液及種子的油萃取液明顯降低稻熱病菌胞子發芽及稻熱病的發生。目前中國大陸用於防治作物病害的植物主要有大蒜、板藍根、商陸、大黃、連翹、苦楝等幾十

種；有些天然植物成分已被研發成商品，如市售的大蒜素、中草藥製劑 “912”、MHll-14 可濕性粉劑等，並推廣給農民使用。德國 BASF 於 1993 年大量篩選植物萃取液的抑菌效果，得到一虎杖 giant knotweed (*R. sachalinensis*) 的乾抽出物，商品名為 Milsana，是唯一在美國登錄的植物抽出物殺菌劑。義大利研究人員發現 Milsana 可降低 50% 的胡瓜白粉病，對玫瑰白粉病亦有相同的效果。

國內研究單位已由天然植物萃取物調配成多種植物保護製劑，用於防治作物病蟲害。如日本虎杖防治甜瓜白粉病、龍葵防治白菜黑斑病、驚炭號及活力能可防治白菜炭疽病、黑修羅可防治水稻稻熱病、銹躲可防治玉米銹病、黴挫防治灰黴病、葵無露防治白粉病。

（二）蟲害防治方面

農試所以天然無患子 (*Sapindus mukorossi*) 果肉抽出物製成名為益無螺粒劑之製劑，用於防治福壽螺（發明專利：發明第 I 220104 號）；保護露液劑用於防治蚜蟲（效果佳，介面活性劑改進中）。另外，研究開發植物油防治害蟲的評估工作，目前已收集 9 種植物種子，榨取種子油測試對農作害蟲之防治效果。其中蓖麻 (*Ricinus communis*) 油、巴豆 (*Croton tiglium*) 油可誘殺玉米螟幼蟲，而花椒 (*Zanthoxylum* sp.) 之揮發性物質可忌避斑蚊。

三、生化農藥 (biochemical pesticides)：

所謂生化農藥包括：（一）化學信息素如昆蟲費洛蒙等以生物性素材經過化學萃取或合成，惟其作用機制無毒害者，如甜菜夜蛾費洛蒙、斜紋夜蛾費洛蒙等；（二）天然礦物如硫礦、碳酸氫鉀、亞磷酸鹽等；（三）天然化學物質如幾丁質、幾丁聚糖、醋酸、醇類等。

（一）化學信息素：

一種生物所分泌產生的化學物質，生物體間接受該等訊息，並造成特別的反應，這種化學物質稱之為化學傳訊素，又稱信息素，可細分為費洛蒙 (pheromone) 、開洛蒙 (或利它蒙，kairomone) 、阿洛蒙 (或利己素，allomone)、新洛蒙(或互利素，synomone)及阿紐蒙(apneumone)。費洛蒙 (pheromones) ，包括性費洛蒙、聚集費洛蒙、警戒費洛蒙、分散費洛蒙及示蹤費洛蒙等，其中以鱗翅目的性費洛蒙或誘引劑的研究最多，主要應用於 1. 害蟲之監測及族群動態預測、2. 害蟲誘殺以降低其密度及 3. 干擾交配等。阿洛蒙 (allomones) 常為警戒性物質，對於生物可產生負面的反應，以減少接觸或使用之機會，如忌避劑、產卵及取食抑制劑等；開洛蒙 (kairomones) 對生物有利，促進寄主搜尋、產卵及取食，如誘引劑、阻斷

劑、刺激劑等。在我國現已大量使用性費洛蒙及誘引劑，推廣於田間防治斜紋夜蛾、甜菜夜蛾、番茄夜蛾、甘藷蟻象、茶捲葉蛾、茶姬捲葉蛾、楊桃花姬捲葉蛾、瓜、果實蠅等之害蟲。

（二）天然礦物或天然化學物質

目前國內學者利用天然礦物或化學物質已研發出防治病害的製劑或使用法，分述如下：

1. 「地吉」為中興大學植病系曾德賜教授所研發成功的新型農用殺菌劑，由國科會移轉台灣氰胺公司量產上市，目前已登記推薦於防治瓜類白粉病之用，除瓜類白粉病外，經試驗證實其對碗豆、茄子、芒果、非洲菊、蕃茄、草莓與青椒等多種作物之白粉病，均有媲美傳統農用殺菌劑之防治效果。此新型農用殺菌劑主要由天然化學物質如維他命 $B_2$、甲硫胺酸、硫酸銅等所組成，其口服毒性 $LD_{50}$ 大於 1,800 mg/kg；具低毒、低殘留等環境安全性特質。主要作用機制為核黃素維他命 $B_2$ 與甲硫胺酸於太陽光的照射下，形成光動效應 (photodynamic reaction) ，並產生一系列強毒性激活態氧衍生物 (包括單重氧 singlet oxygen、過氧化氫 hydrogen peroxide 、超氧自由基 superoxide anion ，以及烴基自由基 hydroxyl radical 等) ，以觸殺葉表上的白粉病菌。
2. 有些特殊的化學物質能刺激植物啟動防禦系統，產生抗生物（anti-pathogen substances），對抗入侵的病原菌，稱為誘導性抗病 (induce resistance) 。如水楊酸 （防治灰黴病）、亞磷酸 （防治藻菌類病害）、寡聚醣 (oligosaccharide) （降低病毒的為害） 、草酸、聚醯胺 （防治作物銹病）、幾丁聚醣 （防治鐮胞菌引起的病害） 具有誘導植物體產生抗病性的功效，其中又以亞磷酸 （phosphoric acid, $H_3PO_3$） 的效果最佳，農試所開發亞磷酸與氫氧化鉀以 1:1 重量比，經稀釋 1000 倍後使用，幾乎可以完全預防某些作物的疫病、露菌病及白銹病的發生。它的防病機制就如同人與動物施打了預防針一般，當特定的病原菌入侵時，植物可以辨識，並立即啟動防禦系統，產生植物防禦素 (phytoalexin) ，對抗病原菌的入侵。
3. 以小蘇打或稱碳酸氫鈉 (baking soda, sodium bicarbonate) 防治作物病害。在 1933 年出版，由 Hottes 氏所編著的書「A Little Book of Climbing Plants」中已提到用稀釋約 133 倍的小蘇打可有效防玫瑰白粉病。 1981 年，日本 Homma 等人利用碳酸氫鈉防治瓜白粉病。隨後，在 1985 年八月份的有機農園 「Organic Gardening」 雜誌上，報導日本的研究人員以約稀釋 500 倍的小蘇打可有效防治瓜類、茄子和草莓白粉病。在

1990 年六月份的溫室管理者「Greenhouse Manager」雜誌上，摘錄了美國康乃爾大學 Horst 博士利用小蘇打可有效防治白粉病及黑斑病的發生。農試所亦證實利用碳酸氫鉀可有效防治田間甜瓜、玫瑰、番茄等的白粉病。

## 結　語

綠色農業首重穩定生態系的維護與保持，生物防治的概念與作法洽可應用於綠色農業中作物病蟲害的防治。作物病蟲害生物防治的概念及潛力已被傳誦近半世紀，藉由研究技術的突破與工業醱酵技術的精進，最近才得以發揚光大，其中最成功的例子應屬蘇力菌製劑的推廣與使用。但眾多的有益微生物之中，真正被開發利用者，實屬少數，有賴研究人員及生技公司再接再厲。針對美國 EPA 已核定之生物性農藥的有效成份，在國內應簡化登錄程序，以加速生物性農藥的開發與商品化的時程。生物性農藥應用在綠色農業的病蟲害管理方面，扮演著極重要的角色，端視使用者對生物製劑防治病蟲害的認知與心態，而不要一味地與傳統化學農藥的速效性相提並論。

未來開發生物性農藥的研究方向應考慮：一、天敵或微生物在導入生態系中的持久性，包括食物源或營養源的供應系統；二、天敵或微生物的飼育、製備或增量方法應可民眾化；三、創造有益昆蟲及微生物增殖的環境；四、混合使用生物性農藥的可行性評估；及五、生物性農藥的耐貯藏性、效果持久性、具專一性及低生態干擾性等問題。

表一、臺灣近年來運用微生物防治植物病害的案例

| 拮抗微生物種類 | 研發單位(公司) | 標的病原菌 |
|---|---|---|
| 枯草桿菌 (*Bacillus subtilis*) | 百泰生物科技(股)公司 | 碗豆白粉病、胡瓜露菌病、蓮霧果腐病、芒果蒂腐病 |
| 木黴菌 (*Trichoderma koningii*) | 屏東科技大學 | 紅豆根腐病 |
| 枯草桿菌 (*Bacillus subtilis*) | 臺灣大學 | 菊花莖腐病、百合灰黴病 |
| 枯草桿菌 (*B. amyloliquefaciens*) | 臺灣大學 | 百合灰黴病 |
| 枯草桿菌 (*Bacillus subtilis*) | 中興大學 | 木瓜炭疽病、芒果黑斑病、煙草白星病、番茄細菌性點病、柑橘潰瘍病、山藥及山蘇白絹病 |
| 螢光假單胞菌 (*Pseudomonas putida*) | 中興大學 | 甜椒細菌性斑點病 |
| 黏帚黴菌 (*Gliocladium virens*) | 中興大學 | 水稻紋枯病 |
| 鏈黴菌(*Streptomyces saraceticus*) | 中興大學 | 柑桔裾腐病、木瓜果實疫病 |
| 鏈黴菌 (*Streptomyces padanus*) | 中興大學 | 甘藍立枯病、番茄晚疫病 |
| 木黴菌 (*Trichoderma harzianum*, *T. atroviride*, and *T. virens*) | 農業試驗所<br>虎尾科技大學 | 康乃馨及百合根腐病、香瓜蔓枯病、甘藍立枯病 |

表二、國內自行配製之昆蟲性費洛蒙

| 害蟲種類 | 開發狀況 | 害蟲種類 | 開發狀況 |
|---|---|---|---|
| 斜紋夜盜 | 實用階段 | 小菜蛾 | 實用階段 |
| 甜菜夜蛾 | 實用階段 | 甘藍擬尺蠖 | 實用階段 |
| 蕪菁夜蛾 | 實用階段 | 大豆擬尺蠖 | 實用階段 |
| 蕃茄夜蛾 | 實用階段 | 二點螟 | 實用階段 |
| 球菜夜蛾 | 改進中 | 甘藷蟻象 | 實用階段 |
| 二化螟 | 實用階段 | 茶姬捲葉蛾 | 改進中 |
| 大螟 | 實用階段 | 楊桃姬捲葉蛾 | 改進中 |

(摘自『設施園藝學』第 381 頁)